

СЗ46

Л-932

В.Б. Любимов

2109

ИЗУЧЕНИЕ НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
 π^- -МЕЗОНОВ С НУКЛОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 7 ГЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель —
доктор физико-математических наук
М.И. Подгорецкий

Дубна 1965

В.Б. Любимов

2109

ИЗУЧЕНИЕ НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
 π^- -МЕЗОНОВ С НУКЛОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 7 ГЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель —
доктор физико-математических наук
М.И. Подгорецкий

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1965

2726 в.р.

Задача исследования процесса множественного образования частиц при столкновении π^- -мезонов с нуклонами и ядрами является одной из важных проблем физики высоких энергий. Этому вопросу посвящено большое количество экспериментальных работ, выполненных на ускорителях в области энергий до 18 Гэв. В результате выяснилась ограниченная применимость выводов статистической теории и существенная роль периферических взаимодействий. Однако последовательной теоретической интерпретации множественного образования частиц пока нет. В этих условиях казалось необходимым получить возможно более полную информацию о свойствах частиц, образующихся в элементарном акте взаимодействия.

Настоящая диссертация посвящена исследованию неупругих взаимодействий π^- -мезонов со свободными и квазисвободными нуклонами. Работа выполнена при помощи пропановой пузырьковой камеры.

Диссертация состоит из пяти глав.

В первой главе дан краткий обзор основных экспериментальных данных по неупругим π^- -N взаимодействиям в области импульсов первичных π^- -мезонов, больших 1 Гэв/с. Сюда относятся прежде всего результаты по множественности образующихся в π^- -N столкновениях вторичных заряженных частиц. С увеличением энергии первичных π^- -мезонов растет сечение, приходящееся на долю взаимодействий с большим числом этих частиц. Причем полное сечение неупругого π^- -N взаимодействия остается приблизительно постоянным. Средняя множественность вторичных заряженных частиц (\bar{n}_3) меняется с энергией сравнительно медленно: так, в области энергий от 1 до 16 Гэв \bar{n}_3 возрастает от 1,5 до 4,0.

Рассмотрены энергетические характеристики рождающихся частиц. Импульсные спектры протонов имеют максимум в области небольших импульсов, характерный для периферических взаимодействий. Особенностью спектров π^- -мезонов является то, что величина наиболее вероятного импульса остается практически постоянной в широком интервале энергий первичных π^- -мезонов. Возрастанье среднего импульса вторичных π^- -мезонов происходит за счет увеличения относительной доли высокоэнергичных π^- -мезонов; что касается поперечных импульсов вторичных частиц, то они почти не зависят ни от первичной энергии, ни от множественности вторичных заряженных частиц.

Угловые распределения вторичных частиц в с.п.и. во всех случаях анизотропны. Величина анизотропии меняется с множественностью заряженных частиц и возрастает по мере роста первичной энергии. В наибольшей степени это относится к протонам, а также к π^- -мезонам.

Приведена сводка данных для коэффициента неупругости, который определен как отношение полной энергии всех родившихся частиц к полной энергии сталкивающихся частиц в системе, где первичный π^- -мезон покоится ("зеркальная" система). Величина коэффициента неупругости, скорее всего, мало меняется с первичной энергией.

Глава II посвящена методике эксперимента. В работе использовались снимки, полученные на 24-литровой пропановой камере в двух сериях облучения камеры (пучком π^- -мезонов с импульсом 6,8 Гэв/с и 7,5 Гэв/с) на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. Камера находилась в магнитном поле напряженностью 13700 эрстед.

Просмотр фотографий осуществляется на стереолупах и репроекторах. События отбирались по критериям, изложенным в работе ^{1/}. На снимках с этими событиями измерялись координаты 8-20 точек каждого следа. По измеренным координатам на электронно-счетной машине рассчитывались импульсы частиц, направляющие косинусы и пр., а также ошибки в импульсах и углах.

Вторичные отрицательные частицы считались π^- -мезонами, для положительных частиц проводились измерения ионизации. Для этого применялся метод подсчета числа просветов, аналогичный использованному в ^{2/}. Разделение протонов и π^+ -мезонов производилось в области импульсов до 1,2 Гэв/с. Часть частиц была идентифицирована по пробегу. Все "черные" останавливающиеся следы считались протонами. Всего оказалось возможным идентифицировать 99% следов положительных частиц с импульсом $\leq 1,2$ Гэв/с.

Среди двухлучевых событий были выделены и отброшены случаи упругого рассеяния первичного π^- -мезона на свободном и квазисвободном протоне. Отбор этих случаев производился в основном по угловым характеристикам (компланарность, соотношение угол-угол).

При просмотре регистрировались электронно-позитронные пары, образованные γ -квантами, испущенными из точки взаимодействия. По результатам измерений следов пары вычислялась энергия γ -кванта и его "статистический вес", учитывающий зависимость эффективности регистрации γ -кванта от геометрических условий и энергии.

В главе III изложены полученные результаты по исследованию неупругих π^- -N столкновений. Всего было отобрано 262 случая взаимодействия с протоном и 93 случая взаимодействия с нейтроном. Сечение неупругого π^- -p взаимодействия, $\sigma_{in} = (25 \pm 3)$ Мэв, согласуется с результатами других работ.

Рассмотрено распределение событий по числу вторичных заряженных частиц, приводятся также средние числа этих частиц в π -p и π -n взаимодействиях. Результаты согласуются с расчетами по статистической теории.

Наиболее полно изучены свойства вторичных π^- -мезонов, так как для π^- -мезонов всех импульсов не требовалось специальной идентификации. На рис. 1 приведены угловые распределения в с.п.и. Распределения асимметричны, причем величина асимметрии усиливается для малолучевых событий. Такой характер угловых распределений ничего общего не имеет с выводами статистической теории. Что касается импульсных распределений π^- -мезонов (рис. 2), то расчеты по статистической теории качественно не противоречат экспериментальным данным. Средние значения поперечных импульсов π^- -мезонов не зависят от множественности вторичных частиц и практически не отличаются от поперечных импульсов неидентифицированных положительных частиц, π^0 -мезонов и медленных протонов.

Энергетическое распределение протонов в л.с.к. (рис. 3) имеет максимум, характерный для периферических взаимодействий. Доля случаев с медленным протоном составляет $\approx 10\%$ от полного сечения взаимодействия π^- -мезонов с нуклоном, что согласуется с результатами, полученными при других энергиях.

В связи с выводом о заметной роли периферических взаимодействий отобранные события были проанализированы с точки зрения одномезонных диаграмм, представленных на рис. 4. Отмечается, что имеющиеся данные не дают возможности для однозначного выбора между схемами, приведенными на рисунке.

Найден коэффициент неупругости для всех неупругих π -p взаимодействий в "зеркальной" системе. Он заключен в пределах 0,47-0,57 и, скорее всего, увеличивается с кратностью вторичных заряженных частиц.

Глава IV посвящена изучению специального класса π -p взаимодействий, сопровождающихся испусканием медленного протона с импульсом в л.с.к., не большим 500 Мэв/с ^{3/}. Для этого были использованы результаты дополнительного просмотра 3000 кадров, в котором по общим критериям было выделено 364 2-лучевых, 178 4-лучевых и 68 случаев с числом лучей > 4 . Все события среди положительно заряженных вторичных частиц имели один "черный" или "серый" след.

Для выделения столкновений со свободными протонами был использован новый критерий, связанный с вычислением недостающей массы M_x ^{4/}. Для взаимодействий со свободными протонами величина M_x всегда положительна, для взаимодействий с ядром формальные вычисления M_x часто приводят к довольно большим по модулю мнимым значениям M_x . Таким образом, мнимое значение соответствует тому, что взаимодействие произошло на ядре. Специальная проверка критерия показала, что он оказался достаточно эффективным, в частности, он дает возможность отделить случаи упругого

взаимодействия на квазисвободном протоне ("квазиупругие" случаи) от неупругих столкновений. Выделение "квазиупругих" случаев по таким характеристикам, как компланарность, соотношение угол-угол и пр., обычно довольно произвольно.

Распределение по множественности заряженных частиц имеет характерное смещение в сторону большого числа малолучевых взаимодействий в сравнении с распределением по множественности всех π -р взаимодействий (не имеющих дополнительного ограничения по импульсу вторичных нуклонов). Такой характер распределений по множественности связан с тем, что периферические взаимодействия относятся в основном к малолучевым звездам.

Угловые распределения вторичных π^- -мезонов в с.п.и. особенно сильно вытянуты вперед в случае двухлучевых взаимодействий. То же самое наблюдается для угловых распределений π^- -мезонов в системе покоя двух π^- -мезонов (рис. 5). Таким образом, если мы имеем дело с π - π взаимодействием, то оно носит дифракционный характер.

Построенные распределения эффективных масс π^+p , π^-p , $\pi^+\pi^-$ и пр. не имеют существенных аномалий.

Глава V посвящена специальному изучению свойств π^0 -мезонов, образующихся в неупругих столкновениях. Изучение проводилось по зарегистрированным в камере γ -квантам. Для этого был сделан просмотр ≈ 1500 кадров. Отбор неупругих π^-N взаимодействий осуществлялся по общим критериям, но дополнительно требовалось, чтобы в каждом событии была по крайней мере одна e^+e^- -пара. Всего было использовано 202 события с 242 парами.

Найдено среднее число π^0 -мезонов (\bar{n}) в событиях разной кратности (таблицы 1, 2). Видно, что \bar{n} мало меняется с множественностью вторичных заряженных частиц для $\bar{n}_3 > 1$. Качественно такой же вывод можно сделать из сопоставления распределения по множественности событий с e^+e^- -парами с распределением,

Т а б л и ц а 1

Множе- ственность	0	2	4	6 и 8	Среднее (π -р)
\bar{n}	$3,2 \pm 0,9$	$1,05 \pm 0,11$	$1,2 \pm 0,14$	$1,35 \pm 0,35$	$1,4 \pm 0,11$

Т а б л и ц а 2

Множе- ственность	1	3	5	Среднее (π - π)
\bar{n}	$1,75 \pm 0,13$	$0,70 \pm 0,13$	$1,20 \pm 0,31$	$1,0 \pm 0,14$

найденным для всех π^-N взаимодействий. Все это означает, что события с разным числом вторичных заряженных частиц значительно отличаются друг от друга по суммарному числу рожденных π^- -мезонов всех знаков.

Среднее число π^0 -мезонов в событиях разной кратности флюктуирует сравнительно мало. Так, например, для всех π^-p взаимодействий величина флюктуации оказывается меньше рассчитанной по статистической теории.

Угловые распределения γ -квантов в с.п.и., которые близки к угловым распределениям π^0 -мезонов, анизотропны для малолучевых взаимодействий (рис. 6).

В таблице 3 приведены средние значения энергии π^0 -мезонов для π^-p столкновений вместе с данными, рассчитанными по статистической теории (л.с.к.) при помощи таблиц случайных звезд.

Т а б л и ц а 3

Множе- ственность	0	2	4	6	Сумма
\bar{E}_{π^0} (Гэв), эксперимент	$2,04 \pm 0,12$	$1,29 \pm 0,30$	$0,77 \pm 0,12$	$0,93 \pm 0,46$	$1,08 \pm 0,18$
\bar{E}_{π^0} (Гэв), стат.теория	$1,50 \pm 0,33$	$1,54 \pm 0,09$	$1,13 \pm 0,30$	$0,39 \pm 0,97$	$1,41 \pm 0,07$

Для более полного изучения γ -квантов, и в частности источников их происхождения, статистика случаев, сопровождающихся образованием e^+e^- -пар, была доведена до ≈ 2000 . Спектр γ -квантов для всех π^-N взаимодействий (2088 γ -квантов) имеет максимум, связанный с распадом π^0 -мезонов (рис. 7), и не обнаруживает других заметных немонотонностей.

События, сопровождающиеся испусканием двух или более γ -квантов, были использованы для выделения π^0 -мезонов по обонм распадным γ -квантам. Для этого было построено распределение эффективных масс пар γ -квантов, приведенное на рис. 8. Для случаев из области максимума, соответствующего π^0 -мезону, были построены энергетические распределения π^0 -мезонов в л.с.к. и в с.п.и. (рис. 9 и 10), распределение по поперечным импульсам (рис. 11). Средние значения поперечных импульсов π^0 -мезонов приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

Тип взаимо- действий	π^-N	π^-C	$\pi^-N + \pi^-C$
\bar{p}_\perp (Гэв/с)	$0,26 \pm 0,10$	$0,31 \pm 0,10$	$0,28 \pm 0,09$

На основании изучения неупругих π^- -N взаимодействий при энергии 7 Гэв можно сделать следующие выводы.

1. Распределение наблюдаемых событий по множественности вторичных заряженных частиц согласуется с расчетами по статистической теории и с данными других работ, выполненных при близких энергиях.
2. Импульсные распределения вторичных π^- -мезонов и π^0 -мезонов также качественно не противоречат расчетам по статистической теории.
3. Средние поперечные импульсы вторичных π^- -мезонов и π^0 -мезонов практически совпадают и не меняются с множественностью вторичных заряженных частиц.
4. Импульсное распределение протонов резко не согласуется с ожидаемым по статистической теории, что позволяет сделать вывод о существенной роли периферических взаимодействий.
5. В с.п.и. угловые распределения вторичных π^- -мезонов резко анизотропны, причем величина анизотропии уменьшается с ростом кратности.
6. Доля энергии, идущей на образование дополнительных частиц в системе, где налетающий π^- -мезон покоится, заключена в пределах 0,47-0,57 и, скорее всего, увеличивается с кратностью вторичных заряженных частиц.
7. Среднее число рожденных π^0 -мезонов не меняется с множественностью вторичных заряженных частиц для $n > 1$.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /1,3,4,6-9/.

Л и т е р а т у р а

1. Н.Г.Биргер, Ван Ган-чан, Ван Шу-цзеи, Дин Да-цао, Ю.В.Катышев, Е.Н.Кладницкая, Д.К.Копылова, В.Б.Любимов, Нгуен Дин Ты, А.В.Никитин, М.И.Подгорецкий, Ю.А.Сморodin, М.И.Соловьев, З.Трка. ЖЭТФ, 44, 1461 (1961).
2. Г.А.Блинов, Ю.С.Крестников, М.Ф.Ломанов. ЖЭТФ, 31, 762 (1960).
3. Д.К.Копылова, В.Б.Любимов, М.И.Подгорецкий, Х.Ризаев, З.Трка. ЖЭТФ, 44, 1481 (1963).
4. Д.К.Копылова, В.Б.Любимов, М.И.Подгорецкий, З.Трка. Препринт ОИЯИ, 1186, Дубна, 1963.
5. М.И.Дымент, Г.И.Копылов. Препринт ОИЯИ, Р-581, Дубна, 1960.
6. В.Б.Любимов, А.В.Никитин, З.Трка. Препринт ОИЯИ, Р-974, Дубна, 1962.
7. В.Б.Любимов, Му Цзюнь, В.Н.Стрельцов. Препринт ОИЯИ, Р-1624, Дубна, 1964.
8. В.Б.Любимов, Му Цзюнь, С.И.Портнова, В.Н.Стрельцов. Препринт ОИЯИ, Р-1629, Дубна, 1964.

9. Д.К.Копылова, В.Б.Любимов, М.И.Подгорецкий. ОИЯИ, Б-4-1249, Дубна, 1963.
10. В.С.Барашенков. Препринт ОИЯИ, Р-540, Дубна, 1960.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 апреля 1965 г.

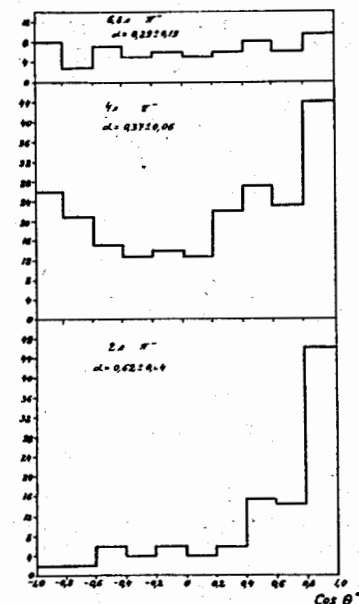


Рис. 1. Угловое распределение π^- -мезонов в с.п.и. для π^- -N взаимодействий разной кратности; $\alpha = \frac{N_2 - N_1}{n}$, где N_2 и N_1 - число π^- -мезонов, летящих вперед и назад, соответственно; n - число взаимодействий.

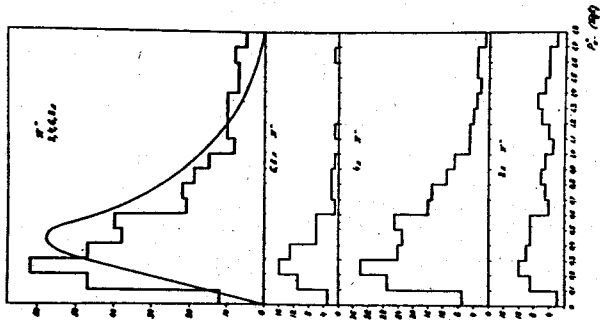


Рис. 2. Импульсные распределения π^- -мезонов в с.л.и. для π^-p взаимодействий разной кратности. Плавная кривая рассчитана по статистической теории $(5/)$.

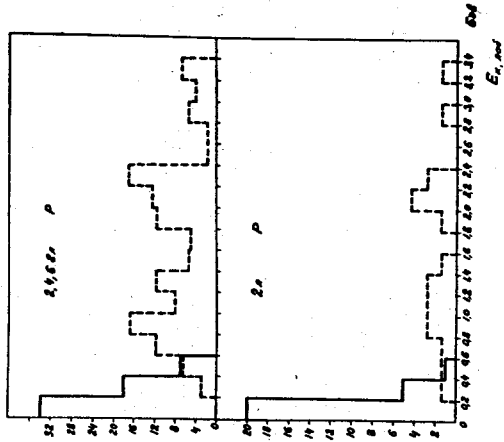


Рис. 3. Энергетические распределения идентифицированных протонов в л.с.к. из π^-p взаимодействий; кумулятивом нанесены гистограммы, ожидаемые по статистической теории (таблица случайных звезд $(5/)$).

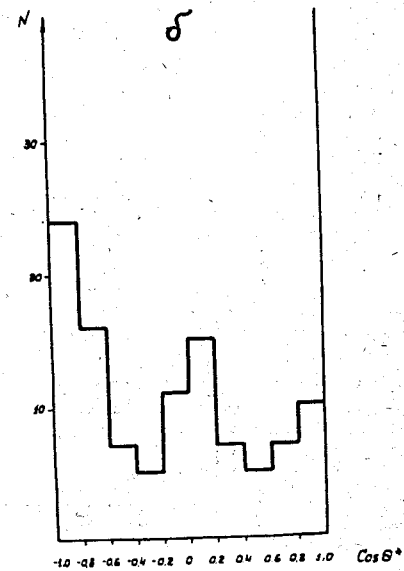
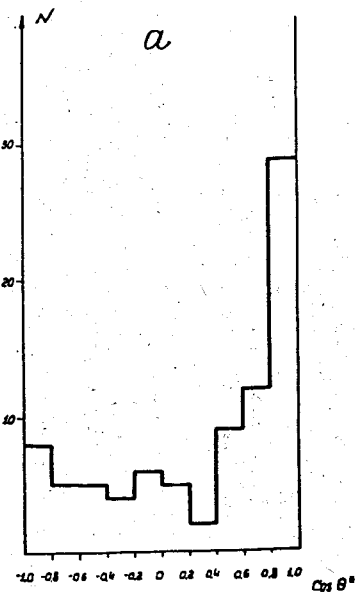


Рис. 5. Угловые распределения π^- -мезонов в $\pi-\pi$ системе: а - для двухлучевых взаимодействий, б - для 4-лучевых.

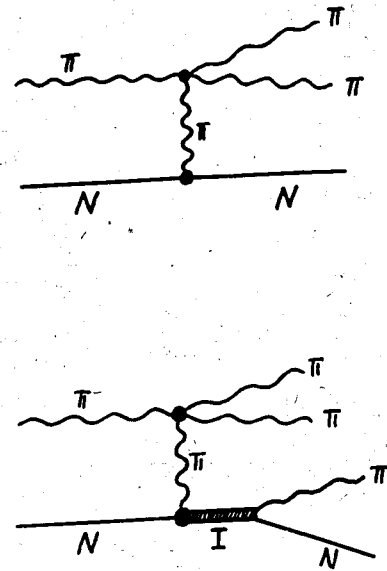


Рис. 4.

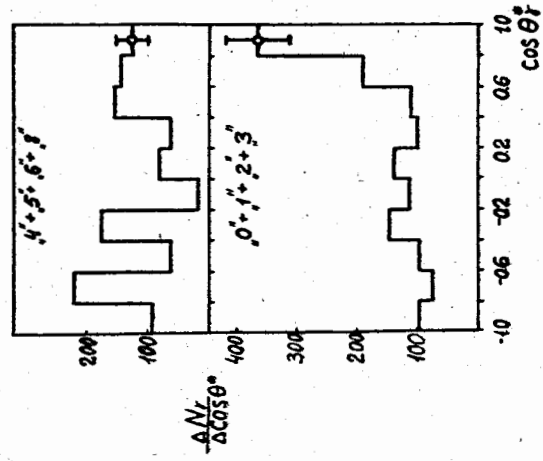


Рис. 6. Угловые распределения γ -квантов в с.п.п. отдельно для событий с множественностью заряженных частиц $n_{\pm}=0, 1, 2, 3$ и с множественностью $n_{\pm}=4, 5, 6, 8$.

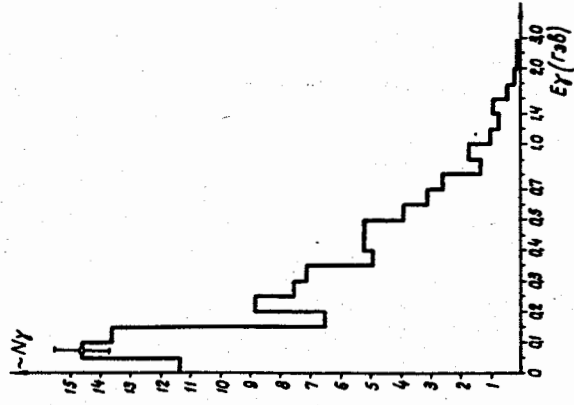


Рис. 7. Энергетическое распределение γ -квантов для $n_{\pm} = N$ взаимодействий.

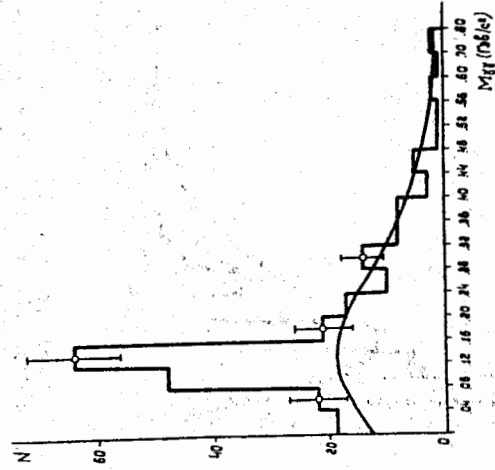


Рис. 8. Распределение величин M для $\pi^{\pm}N$ и $\pi^{\pm}C$ взаимодействий. Плавная кривая - фоновое распределение.

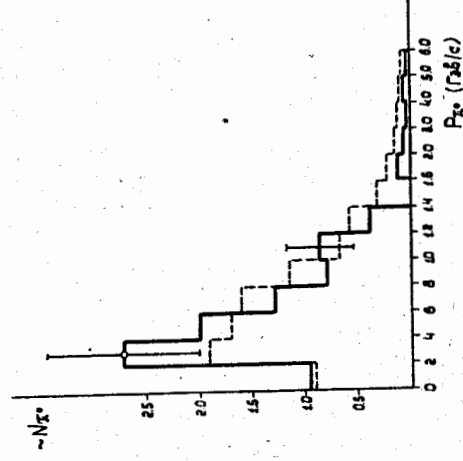


Рис. 9. Импульсное распределение π^{\pm} -мезонов в л.с.к. Гистограмма, отмеченная пунктирной линией - импульсное распределение π^{\pm} -мезонов.

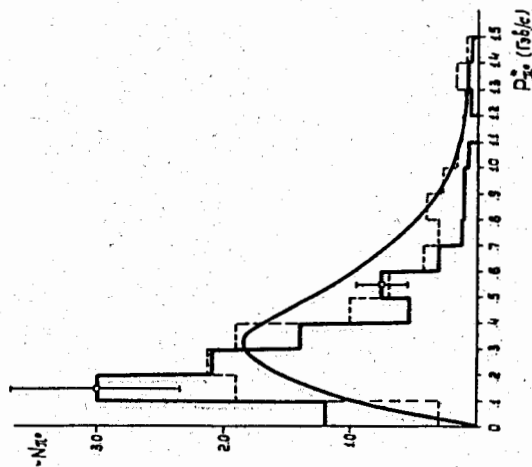


Рис. 10. Импульсное распределение π^0 -мезонов в с.п.к. для π^-N и π^-C взаимодействий (сплошная гистограмма). Пунктирной линией отмечена гистограмма импульсного распределения π^0 -мезонов. Плавная кривая рассчитана по статистической теории $\sqrt{10}$.

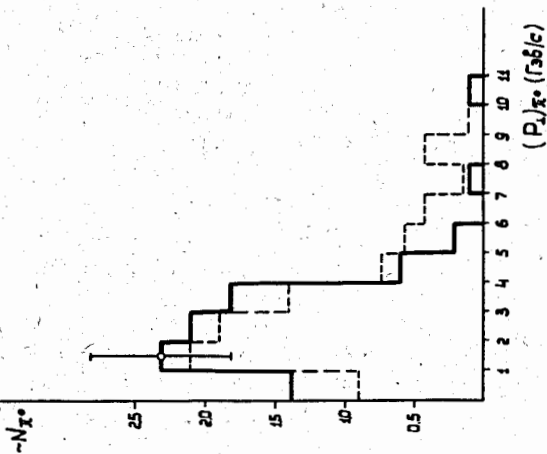


Рис. 11. Распределение π^0 -мезонов по поперечным импульсам. Пунктирная гистограмма - распределение по поперечным импульсам π^0 -мезонов.